# Web 安全第二次作业：MD5 算法程序设计与实现

陈铭涛

16340024

## 算法原理概述

MD5 算法是一种广泛使用的 Hash 算法，常用于确保信息传输的完整性与一致性。对于输入的任一不定长度信息， MD5 算法在对最后一块进行填充后用 512 个比特对其进行分组，使用压缩函数将其生成 4 个 32 比特的数据，合并为 128 比特的信息摘要。MD5 实现的基本过程为填充，分块，缓冲区初始化，循环压缩，得出结果。

## 算法总体流程

1. Padding: 对于给出的长度为 K 比特的数据, MD5 将其填充 P 比特的数据，数据为 100…0，填充后 K+P 模 512 后为 448。填充的数据量范围为 1 至 512 位比特。完成上步后在数据再填充 K 按 little endian 排列的 64 位数据，最终得到的数据长度 K+P+64 模 512 后为 0.
2. 初始化：初始化 32 比特寄存器 A，B，C，D 作为初始向量，数据如下：

   A=0x67452301

   B=0xEFCDAB89

   C=0x98BADCFE

   D=0x10325476

要注意的是需要按 little endian 排列字节数据，即低位字节放在内存的低地址位置。

3. 压缩函数：将消息按 512 比特分组为单位与 CV 向量传入压缩函数，压缩函数进行 4 轮 16 次迭代的循环输出 128 位下一组的 CV 值，最后一组数据输出的 CV 值即为 MD5 的结果。
4. 循环迭代：压缩函数输入的 128 位 CV 值划分为各 32 位的 a, b, c, d 值进行循环迭代，每轮循环各使用如下的对应生成函数 g 结合对应的 T 表元素与消息的不同部分 X 进行 16 次迭代运算：

   第一轮循环：$F(b,c,d) = (b \wedge c) \vee (\neg b \wedge d)$

   第二轮循环：$G(b,c,d) = (b \wedge d) \vee (c \wedge \neg d)$

   第三轮循环：$H(b,c,d) = b \oplus c \oplus d$

   第四轮循环：$I(b,c,d) = c \oplus (b \vee \neg d)$

   每一轮的迭代运算为:$a = b + ((a + g(a,b,c) + X[k] + T[i]) <<< s)$

   其中 X[k] 表示消息组中的第 k 个 32 位字，T[i]表示 T 表的第 i 个元素，<<<s 表示将数据循环左移 s 位，位移的量来自于 s 值表。

   运算后将 b, c, d, a 分别轮换为 a, b, c, d。

   最后一个分组完成循环迭代后的结果即为 MD5 输出的结果。
5. 数据表：上面使用的 X[k]中 k 的确定方法为：对于每轮的第 i 次迭代（i=1..16），令 j=i-1，则对于第一轮迭代 *k=j*，第二轮迭代 *k=(1+5j) mod 16*，第三轮迭代 *k=(5+3j) mod 16*，第四轮迭代 *k = 7j mod 16*。

   T 表的生成方式为：对于 T 表中的第 i 个元素，$T[i] = int(2^{32} \times |sin(i)|)$.

   循环左移的 s 值表如下：

$$s[\ 1..16] = \{\ 7, 12, 17, 22, 7, 12, 17, 22, 7, 12, 17, 22, 7, 12, 17, 22\ \}$$
$$s[17..32] = \{\ 5, 9, 14, 20, 5, 9, 14, 20, 5, 9, 14, 20, 5, 9, 14, 20\ \}$$
$$s[33..48] = \{\ 4, 11, 16, 23, 4, 11, 16, 23, 4, 11, 16, 23, 4, 11, 16, 23\ \}$$
$$s[49..64] = \{\ 6, 10, 15, 21, 6, 10, 15, 21, 6, 10, 15, 21, 6, 10, 15, 21\ \}$$

## 代码实现简述

提交的代码使用 C++语言编写，包含的文件分别为：

- md5.cpp, md5.h 分别为 MD5 类的实现与定义，为程序的主要部分
- md5test.cpp, md5test.h 为进行测试的函数的实现与定义，用于测试与辅助显示 md5 结果。
- main.cpp 为程序主函数，其使用方法参考了 macOS 系统终端自带的 md5 命令使用方法。
- MD5 类为主要的内容，其包含的各方法与介绍如下：

```
std::array<unsigned char, 16> sum(const std::vector<unsigned char> &data);
```

对于输入的字节 vector 进行 md5 计算，返回 16 字节（128 比特）的 md5 结果。

```
std::array<unsigned char, 16> sum(const std::string &data);
```

对传入的字符串进行 md5 计算，返回 16 字节（128 比特）的 md5 结果。

```
std::array<unsigned char, 16> md5Sum(std::vector<unsigned char> data)
```

上面两个函数实际调用的函数，包含了 md5 算法的全过程。

```
void padding(std::vector<unsigned char> & data);
```

对传入的消息数据根据算法的方法原地进行填充操作。

```
uint32_t circularLeftShift(uint32_t data, unsigned int c);
```

对传入的 32 位数据进行循环左移 c 位

```
std::array<unsigned char, 16> HMD5(const std::array<unsigned
char, 64> &data,  const std::array<unsigned char, 16> &cv);
```

压缩函数，传入数据与 cv 值，其中包含了 4 轮 16 次循环迭代操作，返回 128 位运算后的结果。

```
auto F = [](uint32_t b, uint32_t c, uint32_t d) { return (b &
c) | (~b & d); };
auto G = [](uint32_t b, uint32_t c, uint32_t d) { return (b &
d) | (c & ~d); };
auto H = [](uint32_t b, uint32_t c, uint32_t d) { return b ^ c
^ d; };
auto I = [](uint32_t b, uint32_t c, uint32_t d) { return c ^
(b | ~d); };
array<function<uint32_t(uint32_t, uint32_t, uint32_t)>, 4> g =
{F, G, H, I};
```

该 4 个函数为 HMD5 函数实现中使用的 4 个轮函数 g。

- md5test 中包含的函数介绍如下：

  ```
  void md5StrTest(const std::string& input)
  ```

  将传入的字符串进行 md5 运算，结果以 16 进制形式打印至标准输出

  ```
  void md5FileTest(const char* filename)
  ```

  传入文件名，使用二进制模式读取文件并进行 md5 运算，结果以 16 进制输出。

  ```
  void md5RunTest();
  ```

  使用预先设定好的一组字符串进行 md5 运算测试，输出结果。

  ```
  std::string bytesToHexStr(std::array<unsigned char, 16>
  data);
  ```

  将输入的 128 比特数据转为 16 进制形式的字符串。

## 程序编译

程序使用 cmake 进行编译，在 Windows，Mac 和 Linux 系统下编译指令分别如下：

```
# Linux, macOS
cmake .
make

#Windows
cmake -G "MinGW Makefiles" .
mingw32-make
```

编译完成后将会把可执行文件输出至 bin 文件夹下，提交的代码目录下的 bin 文件夹已包含这三个系统下的可执行文件。

程序的使用方法模仿了 macOS 命令行下的 md5 工具，具体如下：

```
./md5 [-x] [-s string] [files ...]
```

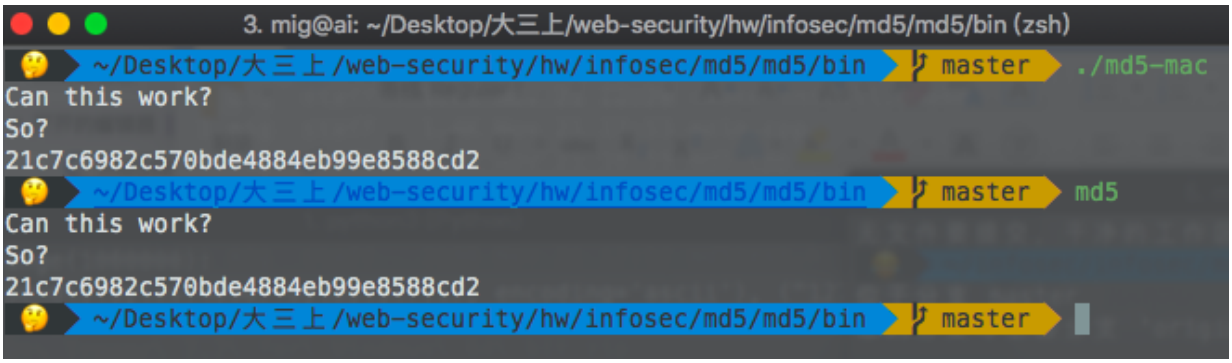
其中各参数作用如下：

- -x 会使程序执行测试，使用预先定义的一组字符串进行 md5 运算结果的测试。
- -s 后接字符串，程序会对该字符串进行运算并输出结果，该参数可重复指定
- 程序读取到第一个非选项的参数时将会进入文件读取模式，将剩余的参数视为文件名并读取文件进行运算输出结果。
- 若未指定任何参数，程序将会从标准输入中读取输入，并在用户输入 EOF 后输出结果。

# 程序运行结果

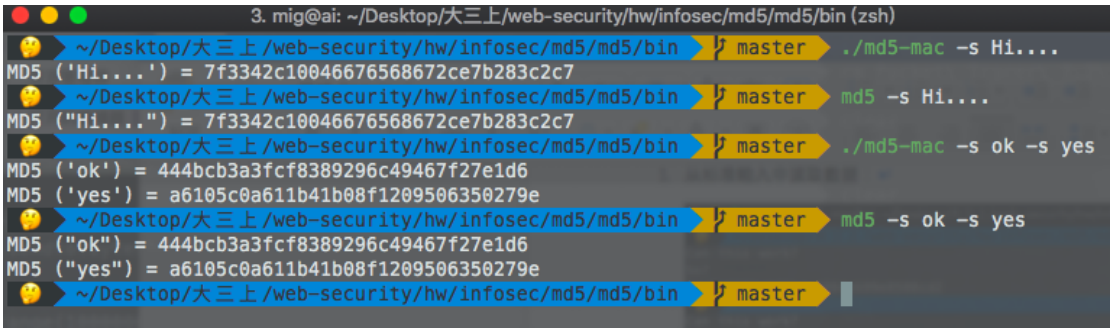
在 macOS 10.14.1 系统下进行程序的运行测试，与系统自带 md5 工具进行结果对比，程序运行的效果如下：

1. 从标准输入中读取数据：

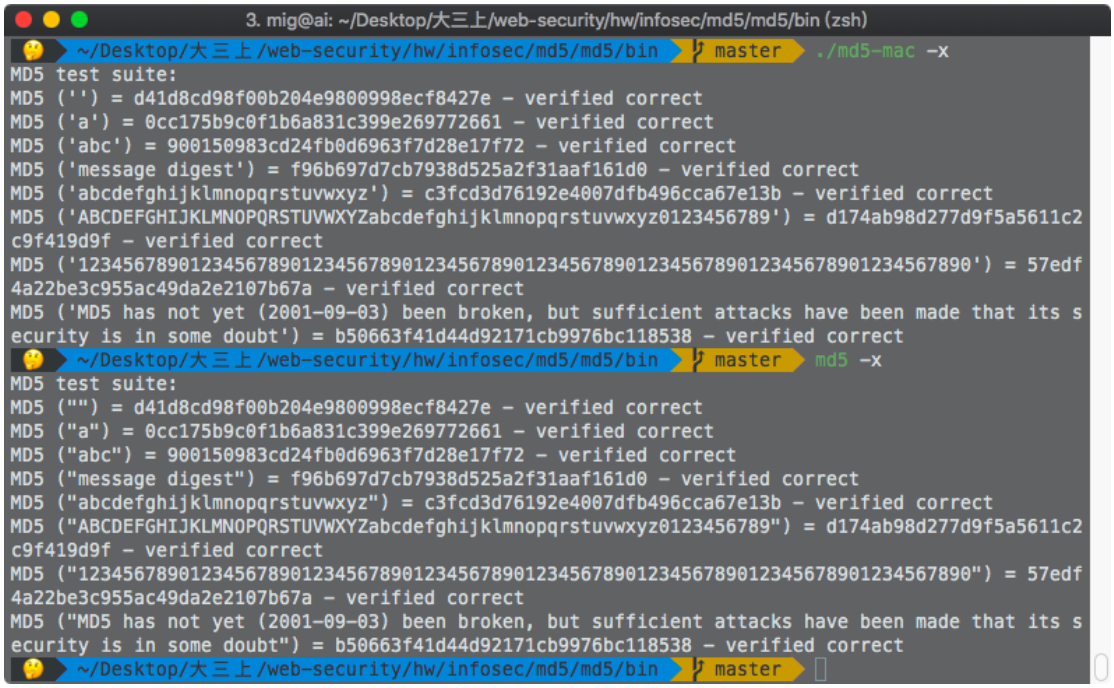



2. 对代码文件以及可执行文件自身计算 md5 值：


3. 从命令行读取字符串：




4. 使用-x 执行测试：




程序在 macOS 10.14.1，Ubuntu 18.04.1 LTS 以及 Windows 10 下测试运行正常，输出结果与各系统自带的 md5 工具输出的结果相同。